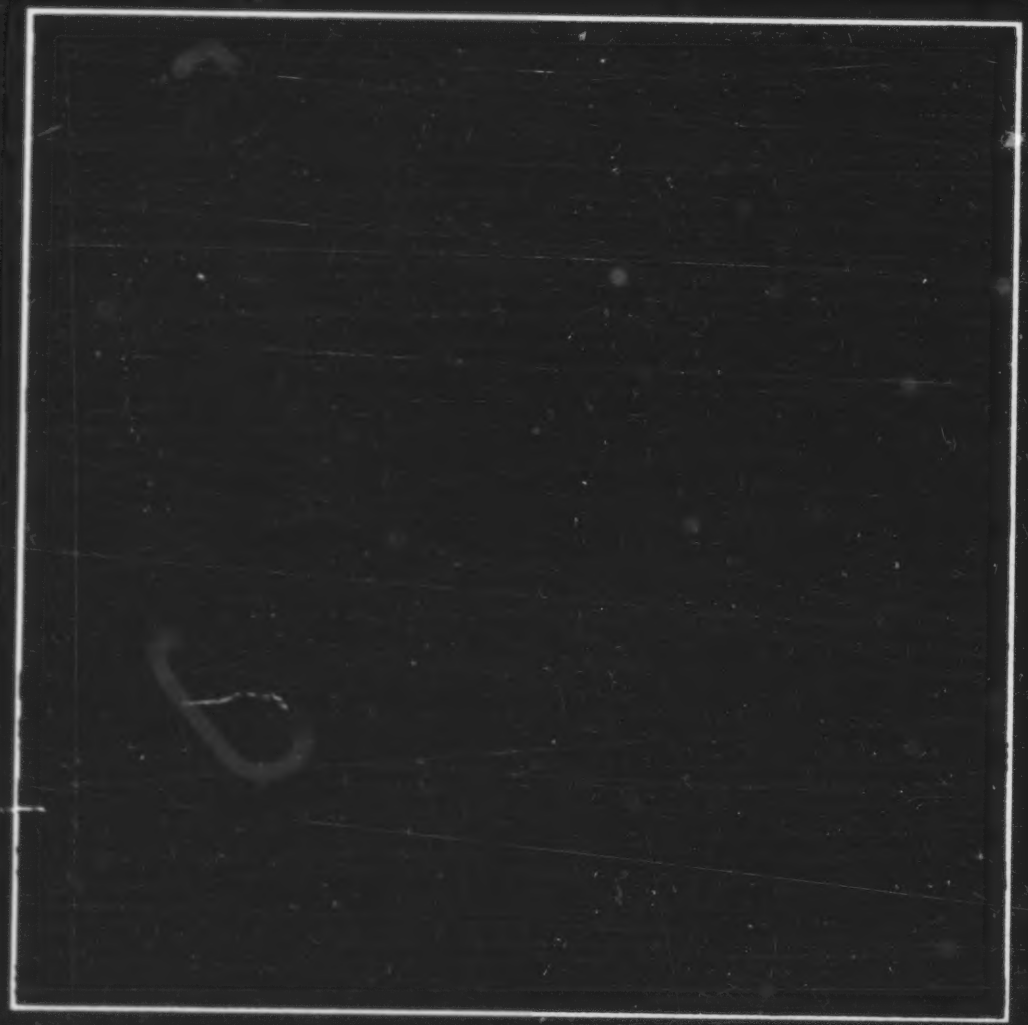
Agriculture Canada
Service canadien des forêts

Agriculture Canada
Canadian Forestry Service

Variation de la densité du bois de 28 espèces forestières de l'Ontario

I.S. Alemdag

Rapport d'information PI-X-45F
Institut forestier national de Petawawa



85-6643/

VARIATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DU BOIS DE 28 ESSENCES FORESTIERES POUSSANT EN ONTARIO

Rapport d'information PI-X-45F

I.S. Alemdag

Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Agriculture Canada
1985

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. Fo46-11/45-1985F
ISSN 0228-0736
ISBN 0-662-93000-2

Des exemplaires de cette publication peuvent être obtenus sans frais à l'adresse suivante:

Centre d'information technique et de distribution
Institut forestier national de Petawawa
Service canadien des forêts
Agriculture Canada
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0
Téléphone : (613) 589-2880

This publication is also available in English under the title **Wood density variation of 28 tree species from Ontario.**

Table des matières

i Résumé/Abstract

1 Introduction

2 Données

3 Méthodes d'analyse

6 Résultats et discussion

6 Variation intra-tige
7 Variation inter-tiges
7 Variation interspécifique

9 Résumé et conclusions

9 Remerciements

10 Bibliographie

12 Liste des espèces étudiées

Tableaux

4 1. Données concernant les arbres de l'échantillon
5 2. Données relatives à la masse volumique des rondelles et de la tige des arbres de l'échantillon
5 3. Modèles de régression étudiés
8 4. Comparaison de nos valeurs de la masse volumique avec celles de Jessome (1977) et de Kennedy et al. (1968)

Figure

3 1. Représentation schématique des données recueillies.

RÉSUMÉ

On a déterminé la masse volumique du bois de 1652 arbres à différentes hauteurs de la tige et sa valeur moyenne pour la tige entière; l'échantillon comportait 10 espèces résineuses et 18 espèces feuillues poussant en Ontario. On a aussi étudié des équations mettant ces variables en relation avec certaines des caractéristiques des arbres. Comme les relations sont ténues, il est difficile de formuler des équations d'estimation fiables. Cependant, étant donné que la variation de la masse volumique de la tige entière est faible, on peut dire que la valeur moyenne de chaque espèce est valable.

ABSTRACT

The basic wood density at different heights along the stem and average basic wood density of stems were studied based on 1652 sample trees of 10 softwood and 18 hardwood species in Ontario. Some equation models were tested relating these variables to various tree characteristics. It was found that the relationships of disk and tree wood densities with measurable tree variable are very weak and developing reliable estimation equations are not easy. However, since variation on tree wood density was found to be small, average wood densities of each species can be used with confidence.

VARIATION DE LA MASSE VOLUMIQUE DU BOIS DE 28 ESSENCES FORESTIERES POUSSANT EN ONTARIO

INTRODUCTION

La définition que donne Elliott (1970) de la masse volumique du bois est la plus complète qui ait été formulée jusqu'ici. En effet pour lui, il ne s'agit pas d'une caractéristique physique "... toute simple, mais plutôt de l'effet d'ensemble de plusieurs facteurs liés à la croissance et à la physiologie de l'arbre, effet qui confère au bois une propriété relativement aisée à mesurer. Dans son sens le plus direct, la masse volumique donne une excellente idée de la quantité de substance ligneuse que contient un morceau de bois séché et, à ce titre, 1) elle est un très bon indice de la résistance du bois, 2) elle est souvent étroitement liée à la qualité générale du bois, et 3) elle est fréquemment en corrélation avec le rendement en pâte. Pour le spécialiste en xylologie, la masse volumique du bois est une caractéristique importante, car elle peut influer sur la résistance du bois d'oeuvre et le rendement en pulpe. Elle présente aussi de l'intérêt pour le spécialiste en foresterie, car on sait qu'elle est en grande partie déterminée par les conditions de croissance de l'arbre et, dès lors, qu'il est possible de s'en servir pour influer sur la nature de la matière première".

La masse volumique est l'indice le plus simple et le plus utile qu'on puisse trouver pour déterminer si un bois se prête à certains usages courants (Wahlgren et al., 1966); sa valeur est directement liée au pouvoir calorifique du bois (Harrington et DeBell, 1980). Lorsqu'il faut calculer la masse d'une pièce de bois séchée d'après son volume, les variations de la masse volumique particulière à l'espèce considérée deviennent un facteur important; si en outre on tient compte de la partie du fût d'où provient la pièce, on peut acquérir de nouvelles données avec lesquelles on pourra décider des différents usages auxquels le bois étudié peut servir (See et al., 1974). A défaut d'équations, la masse volumique est le seul moyen de connaître la masse d'une tige séchée d'après son volume.

La masse volumique est une caractéristique du bois qui a été très étudiée. En effet, on a étudié chez plusieurs essences, en plantation ou en peuplement naturel, les relations quelque peu complexes qui existent entre cette caractéristique et l'âge, le diamètre, la longueur de la tige, la croissance radiale, la situation géographique, le terrain et les facteurs du milieu et, lorsqu'il y avait lieu, les traitements sylvicoles et l'origine des semences. Toutefois, seules quelques-unes de ces relations ont été exprimées sous forme mathématique. Spurr et Hsiung (1954), de même qu'Elliot (1970), font le tour complet de cette question.

I.S. Alemdag travaille en recherche à l'Institut forestier national de Petawawa, Service canadien des forêts, Agriculture Canada, Chalk River (Ont.), K0J 1J0.

Manuscrit approuvé pour publication le 23 octobre 1984.

Kennedy et al. (1968) ont cherché à mesurer d'une façon fiable la masse volumique moyenne du bois des essences forestières de l'est du Canada; dans le même but, Smith (1970) s'est intéressé aux espèces de l'ouest du Canada, tandis que Singh (1984) étudiait celles des provinces des Prairies. Jessome (1977) a étudié les propriétés du bois des essences forestières du Canada; il a notamment déterminé la masse volumique moyenne du bois de plusieurs espèces poussant en Ontario. Hale et Prince (1940) ont examiné la relation entre la masse volumique et le taux de croissance des épinettes et du sapin baumier de l'est du Canada. Heger (1974 a,b) a étudié la variation de la masse volumique en fonction de la hauteur chez l'épinette noire et le sapin baumier du Québec et chez le sapin baumier poussant en forêt et à découvert en Ontario. Scott et al. (1982) se sont penchés sur les effets de la fertilisation et de l'éclaircie sur la masse volumique de pins gris cultivés en plantation en Ontario. Pour notre part, comme il restait plusieurs espèces de résineux et de feuillus à étudier en Ontario, nous nous sommes intéressés à la variation de la masse volumique en fonction de différents facteurs, en cherchant, dans la mesure du possible, à l'exprimer mathématiquement; nous avons étudié la variation longitudinale dans la tige, la variation inter-tiges et la variation interspécifique.

Notons que la masse volumique dont il s'agit ici représente par définition, le rapport de la masse du bois séché sur son volume à l'état frais exprimé en unités de masse par unité de volume, en l'occurence, en kg/m^3.

La liste des 28 essences forestières (10 espèces de résineux et 18 espèces de feuillus) que nous avons étudiées figure à la fin du rapport.

DONNÉES

Nos échantillons proviennent de toute une variété de peuplements de l'Ontario. Pour les prélèvements, nous avons procédé comme suit : une fois l'arbre échantillonné abattu, nous avons découpé dans la tige quatre rondelles de 3 à 4 cm d'épaisseur (figure 1) à hauteur de poitrine, au tiers, au second tiers et au sommet de la hauteur marchande (hm, où le diamètre du tronc non écorcé est de 9,1 cm). Ces rondelles ont été envoyées au laboratoire où l'on en a déterminé le diamètre moyen (avec et sans l'écorce); après cette mesure, on a prélevé une pointe dans la partie où le bois était le plus uniforme et on en a déterminé la masse volumique par immersion dans l'eau, suivant une méthode décrite dans un article de la Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) (1953)[1]. Finalement, après avoir fait sécher la pointe au four à 105 °C, on en a mesuré la masse, à 0,1 g près, et le volume, à 0,1 cm^3 près.

Pour calculer la masse volumique d'une rondelle prélevée à différentes hauteurs de la tige (valeur que nous appellerons dorénavant masse volumique d'une rondelle, DWD) nous avons divisé la masse de la pièce séchée, exprimée en grammes, par son volume, exprimée en centimètres cubes, et multiplié le tout par 1000. Nous avons ensuite déterminé la masse volumique moyenne de la tige (valeur que nous appellerons dorénavant masse volumique de la tige, TWD) en calculant la moyenne pondérée de la masse volumique des quatre rondelles,

[1]Il est paru une nouvelle version de cet article en 1976 sous le numéro de publication T258 os-76.

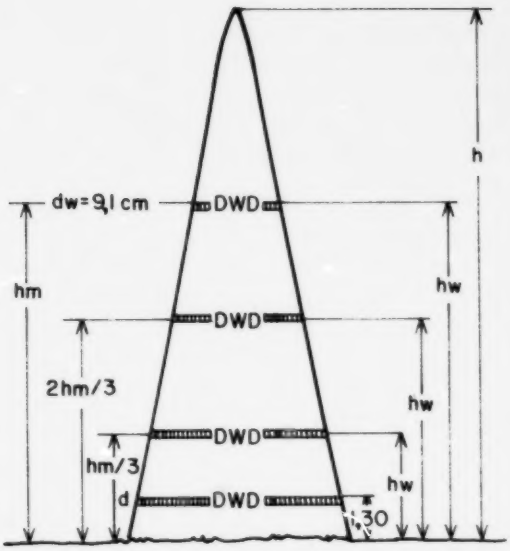


Figure 1. Représentation schématique des données recueillies.

le carré du diamètre des rondelles sans l'écorce servant ici de facteur de pondération.

Les dimensions et l'âge des arbres de l'échantillon sont indiqués au tableau 1; la masse volumique des rondelles et de la tige figurent au tableau 2.

MÉTHODES D'ANALYSE

Lorsqu'on travaille sur un grande nombre d'espèces, plutôt que d'étudier chacune en détail à l'étape préliminaire, il vaut mieux en examiner quelques-unes et les soumettre à des épreuves plus avancées afin de voir comment évolue une relation donnée, puis de comparer les données ainsi obtenues avec les résultats des travaux qui ont déjà été faits sur le sujet. Pour cet examen initial, nous avons choisi deux résineux, le pin blanc et l'épinette blanche, et deux feuillus, le peuplier faux-tremble et l'érable à sucre.

Au moyen d'un programme informatique, nous avons reporté sur un graphique les valeurs de la masse volumique à différentes hauteurs de la tige et de la masse volumique moyenne de la tige en fonction des variables suivantes : diamètre à hauteur de poitrine (avec l'écorce, d), hauteur totale (h), âge total (t), dimension de la tige ($d^2.h$), hauteur de prélèvement de la rondelle (hw), hauteur relative de prélèvement ou hauteur de la rondelle par unité de hauteur de tige (hw/h), diamètre de la rondelle (avec l'écorce, dw) et diamètre relatif ou diamètre de la rondelle par unité de diamètre à hauteur de poitrine (dw/d).

Tableau 1. Données concernant les arbres de l'échantillon

Espèce	Nombre d'arbres	d(cm) Moyenne	d(cm) Variation	h(m) Moyenne	h(m) Variation	t(ans) Moyenne	t(ans) Variation
			Résineux				
Cèdre rouge	16	18,6	10,8 - 38,2	9,19	6,30 - 12,80	54	35 - 64
Cèdre blanc	66	22,7	10,2 - 38,8	13,02	8,30 - 19,00	97	41 - 197
Sapin baumier	17	15,5	11,5 - 21,5	15,22	9,00 - 18,10	59	33 - 92
Pruche du Canada	122	29,6	10,2 - 51,4	16,72	5,17 - 26,50	130	60 - 308
Pin blanc	128	34,5	9,9 - 68,7	21,13	5,40 - 35,90	90	19 - 255
Pin gris	69	16,6	10,2 - 26,8	17,78	11,90 - 23,50	-	-
Pin rouge	94	29,0	10,3 - 55,1	18,44	7,10 - 34,35	74	18 - 253
Épinette noire	39	13,4	9,4 - 22,2	13,35	8,20 - 18,90	-	-
Épinette blanche	56	16,7	9,9 - 35,8	13,89	6,20 - 23,20	-	-
Mélèze laricin	60	20,8	10,3 - 33,8	19,93	11,05 - 26,70	78	28 - 124
			Feuillus				
Frêne noir	18	18,31	10,1 - 33,1	15,12	9,15 - 20,30	74	40 - 120
Frêne rouge	24	23,3	12,0 - 40,2	19,66	13,50 - 26,70	61	35 - 89
Frêne blanc	64	26,3	10,7 - 53,7	18,83	11,75 - 26,93	70	37 - 145
Peuplier à grandes dents	11	25,4	15,3 - 39,2	18,78	14,10 - 23,00	59	55 - 81
Peuplier faux-tremble	28	21,8	10,3 - 41,8	20,07	14,30 - 26,80	50	20 - 90
Tilleul d'Amérique	62	30,8	12,3 - 54,8	19,56	10,01 - 26,10	70	23 - 112
Hêtre à grandes feuilles	63	27,8	10,5 - 44,1	19,85	9,72 - 26,50	97	40 - 148
Bouleau à papier	44	21,3	13,3 - 32,7	19,60	14,90 - 22,25	72	46 - 90
Bouleau jaune	83	37,2	10,4 - 70,3	20,45	10,00 - 25,60	107	37 - 210
Cerisier tardif	64	26,1	9,5 - 49,6	18,55	8,35 - 25,92	55	26 - 91
Orme d'Amérique	68	23,0	11,3 - 55,2	14,64	7,96 - 23,24	63	26 - 129
Caryer	67	23,5	10,0 - 46,6	21,25	11,60 - 29,40	63	24 - 110
Érable rouge	36	28,1	13,5 - 45,2	20,04	10,76 - 25,35	71	32 - 122
Érable argenté	31	27,4	13,3 - 45,3	21,99	14,15 - 26,38	41	28 - 58
Érable à sucre	86	31,4	10,0 - 57,8	19,71	9,86 - 26,41	80	34 - 139
Chêne rouge	100	25,6	10,1 - 53,3	16,64	9,92 - 23,00	70	35 - 101
Chêne blanc	49	28,5	9,9 - 74,3	13,02	5,00 - 21,50	81	17 - 127
Peuplier baumier	87	25,5	10,0 - 53,2	18,81	8,70 - 27,00	42	24 - 90

Les distributions ainsi obtenues s'ajustaient à divers modèles de régression dont les plus vraisemblables sont présentés au tableau 3. Après avoir évalué les relations avec la masse volumique des rondelles et de la tige, nous avons retenu les meilleurs pour les appliquer à toutes les espèces étudiées. Comme critère d'évaluation, nous avons employé le coefficient de corrélation multiple (R^2) et l'erreur-type de l'estimation exprimée sous la forme d'un pourcentage de la moyenne (taux d'E.-T. E.) que nous avons obtenue pour chaque modèle.

Tableau 2. Données relatives à la masse volumique des rondelles et de la tige des arbres de l'échantillon

Espèce	Masse volumique des rondelles (kg/m³)					Masse volumique de la tige (kg/m³)			
	Nombre d'arbres	Nombre de rondelles	Moyenne	Variation+	CV* (%)	Nombre d'arbres	Moyenne	Variation+	CV* (%)
Résineux									
Cèdre rouge	16	64	438	367 - 542	7,3	16	437	391 - 472	5,3
Cèdre blanc	66	264	319	247 - 420	10,3	66	311	257 - 371	7,4
Sapin baumier	17	68	340	273 - 398	7,9	17	341	299 - 370	6,7
Pruche du Canada	122	488	404	211 - 790	14,9	122	406	336 - 677	11,3
Pin blanc	128	512	340	214 - 523	14,7	128	342	237 - 447	11,1
Pin gris	69	276	411	308 - 531	9,2	69	418	371 - 483	6,2
Pin rouge	94	376	359	213 - 543	14,8	94	372	270 - 477	12,1
Épinette noire	39	156	436	320 - 546	9,2	39	437	367 - 520	8,5
Épinette blanche	56	224	382	293 - 524	9,9	56	383	314 - 476	9,1
Mélèze laricin	60	240	487	382 - 612	9,2	60	494	436 - 565	6,3
Feuillus									
Frêne noir	18	72	543	451 - 652	6,8	18	545	509 - 571	2,9
Frêne rouge	24	96	551	461 - 681	8,3	24	555	500 - 608	5,2
Frêne blanc	64	256	594	348 - 707	8,6	64	594	483 - 664	6,6
Peuplier à grandes dents	11	44	388	324 - 480	7,2	11	388	376 - 404	2,3
Peuplier faux-tremble	28	112	387	295 - 507	12,4	28	387	313 - 469	11,6
Tilleul d'Amérique	62	248	425	248 - 682	16,0	62	428	354 - 597	11,0
Hêtre à grandes feuilles	63	252	605	498 - 733	7,6	63	607	540 - 692	5,1
Bouleau à papier	44	176	539	467 - 600	4,8	44	539	490 - 583	3,7
Bouleau jaune	83	332	595	474 - 705	7,6	83	596	512 - 686	6,2
Cerisier tardif	64	256	568	238 - 721	8,8	64	569	494 - 647	5,1
Orme d'Amérique	68	272	579	491 - 708	7,9	68	580	512 - 676	7,2
Caryer	67	268	615	509 - 764	6,8	67	616	550 - 673	3,9
Érable rouge	36	144	581	479 - 702	7,7	36	588	521 - 655	5,1
Érable argenté	31	124	476	403 - 565	6,7	31	480	421 - 528	5,0
Érable à sucre	86	344	612	495 - 716	7,0	86	616	518 - 673	5,2
Chêne rouge	100	400	593	413 - 908	7,8	100	590	468 - 690	6,1
Chêne blanc	49	196	644	548 - 726	5,6	49	646	600 - 708	3,7
Peuplier baumier	87	348	357	286 - 462	7,3	87	354	304 - 412	5,4

*Coefficient de variation = écart-type/moyenne arithmétique.
+Chez certaines espèces, nous avons obtenu quelques valeurs très élevées ou très faibles, de sorte que la plage de variation est beaucoup plus étendue qu'on se serait attendue.

Tableau 3. Modèles de régression étudiés

N° du modèle	Formule
	Masse volumique d'une rondelle
1	$DWD = b_0 + b_1 \cdot hw + b_2 \cdot dw + b_3 \cdot d + b_4 \cdot h$
2	$DWD = b_0 + b_1 \cdot hw + b_2 \cdot dw + b_3 \cdot (hw \cdot dw)$
3	$DWD = b_0 + b_1 \cdot (hw/h) + b_2 \cdot (hw/h)^2 + b_3 \cdot d + b_4 \cdot h$
4	$DWD = b_0 + b_1 \cdot (hw/h) + b_2 \cdot (dw/d) + b_3 \cdot d + b_4 \cdot h$
5	$DWD = b_0 + b_1 \cdot (hw/h) + b_2 \cdot (hw/h)^2 + b_3 \cdot t + b_4 \cdot t^2$
	Masse volumique de la tige
6	$TWD = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot h + b_3 \cdot t$
7	$TWD = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot h + b_3 \cdot (d^2 \cdot h)$
8	$TWD = b_0 + b_1 \cdot (d^2 \cdot h) + b_2 \cdot (d^2 \cdot h)^2 + b_3 \cdot t + b_4 \cdot t^2$
9	$TWD = b_0 + b_1 \cdot (d^2 \cdot h) + b_2 \cdot t$
10	$TWD = b_0 + b_1 \cdot$ (volume de la tige avec l'écorce)

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Variation intra-tige

Les chercheurs ont tenté de diverses façons d'expliquer l'étendue de la distribution de la masse volumique du bois en fonction de la hauteur dans la tige qui s'observe chez diverses espèces provenant de différentes régions et poussant dans différentes conditions. Il est peut-être vrai que la variation axiale des dimensions ne présente aucune constance comme celle qui s'observe, par exemple, dans le cas de la relation entre la hauteur et le diamètre ou entre le diamètre et l'âge. Dans diverses études, on qualifie la relation entre la masse volumique d'une rondelle de bois et les dimensions de l'arbre, considérées seules ou en association avec d'autres variables, de forte, ténue ou inexistante. Au nombre des publications consacrées à cette question, mentionnons celles de Spurr et Hsiung (1954), Zobel et McElwee (1958), Elliot (1970), Johnstone (1970), Okkonen et al. (1972), Cody (1972), Farr (1973), Maeglin (1973), Lenhart et al. (1977) et Taylor et Burton (1982).

Il est généralement reconnu que la masse volumique varie suivant la hauteur où l'échantillon a été prélevé sur la tige et que la relation est encore plus forte lorsqu'on considère la hauteur relative. Chez le pin, la masse volumique baisse plus la hauteur augmente (Jayne, 1958; Conway et Minor, 1961; Tackle, 1962; Johnstone, 1970; Markstrom et Yerkes, 1972; Lenhart et al., 1977; Scott et al., 1982). Chez l'épinette par contre, la variation est inconstante, inexistante (Elliott, 1970) ou dénote une tendance à la hausse (Farr, 1973). Dans certains cas, lorsque la masse volumique de la rondelle est reportée en fonction de la hauteur de prélèvement relative, le tracé donne une courbe concave comme l'ont montré Wahlgren et al. (1966) et Heger (1974 a,b).

Notre analyse a révélé que la variation de la masse volumique de la rondelle en tant que telle n'est pas élevée (tableau 2) tant chez les espèces des tests préliminaires que chez celles que nous avons étudiées par la suite. Ainsi dans le cas des résineux, le coefficient de variation allait de 7,3 % à 14,9 % tandis que pour les feuillus il variait de 4,8 % à 16,0 %. La distribution de la masse volumique de la rondelle en fonction de d, h, t, dw ou hw donne toutefois un ensemble de points très dispersés qu'il est difficile de représenter par une formule mathématique juste. Si, par contre, on examine le diagramme de distribution de la masse volumique de la rondelle en fonction de la hauteur de prélèvement relative pour chacune des quatre espèces des tests préliminaires, il est possible de faire un rapprochement avec certains modèles, mais le lien n'est pas très marqué et l'on ne trouve rien qui soit commun aux quatre espèces à la fois. L'analyse de régression des modèles n° 1 à 5 montre que la hauteur de prélèvement relative et l'âge forment la meilleure combinaison de variables explicatives, même si la corrélation avec la masse volumique de la rondelle demeure faible.

Au nombre des cinq modèles que nous avons étudiés, le modèle n° 5 s'est révélé le meilleur au point de vue statistique. Lenhart et al. (1977) se sont servis d'un formule semblable. En appliquant le modèle n° 5 à chacune des espèces étudiées, pour formuler des équations permettant de déterminer la masse volumique du bois à différentes hauteurs de la tige, nous avons obtenu des relations relativement ténues (par exemple, dans le cas du frêne blanc, du hêtre à grandes feuilles, du caryer) ou relativement fortes (par exemple, dans le cas du peuplier à grandes dents, du peuplier faux-tremble, du pin rouge)

dont le coefficient R^2 variait de 0,005 à 0,555 seulement et dont le taux d'E.-T. E. se situait entre 16,0 et 4,9; le t^2 était cependant inacceptable pour certaines espèces. Lorsqu'on considère un âge donné, le modèle donne une courbe concave (par exemple, le pin blanc), convexe (par exemple, le cerisier tardif), convexe décroissante (par exemple, l'érable argenté) ou concave croissante (par exemple, le cèdre blanc).

Variation inter-tiges

Les études visant à déterminer la masse volumique moyenne de la tige d'un arbre d'après ses dimensions, son âge ainsi que divers autres facteurs mènent à des conclusions diverses. Il semble toutefois qu'on s'entende pour dire que la masse volumique est une propriété très variable qu'il est impossible d'estimer d'une manière un tant soit peu fiable. Quelques chercheurs ont montré que chez certaines espèces il existe une relation assez forte entre cette caractéristique et certains facteurs comme, par exemple, le taux de croissance (Hale et Prince, 1940); l'âge et le lieu géographique (Wheeler et Mitchell, 1962); d'autres, par contre, n'ont trouvé qu'une relation ténue et plutôt imprévisible avec les dimensions et l'âge de l'arbre (Farr, 1973; See et al., 1974; Gilmore et Jokela, 1978; Harrington et DeBell, 1980); le taux de croissance (Cockrell, 1943; Harrington et DeBell, 1980; Taylor et Burton, 1982); le terrain (Farr, 1973; See et al., 1974; et Harrington et DeBell, 1980); la région et le lieu géographique (Gilmore et Jokela, 1978).

Nous avons constaté que la masse volumique varie légèrement d'une tige à l'autre. Comme on peut le voir au tableau 2, le coefficient de variation allait de 5,3 % à 12,1 %, dans le cas des résineux, et de 2,3 % à 11,6 %, dans le cas des feuillus. Toutefois, lorsque nous avons reporté la masse volumique en fonction de d, h, $d^2.h$ et t pour chacune des quatre espèces du test préliminaire, nous avons constaté qu'elle variait beaucoup pour l'ensemble de ces variables indépendantes et qu'il était difficile de trouver un modèle mathématique de la masse volumique qui s'ajuste à cette distribution. Quoi qu'il en soit, nous en avons testé un certain nombre dont les meilleurs sont présentés au tableau 3.

Les tests de régression que nous avons appliqués à ces modèles ont montré que la relation entre la masse volumique et l'une ou l'autre des variables énumérées ci-dessous est ténue. Les variables d, h et t (modèle n° 6) ont donné les combinaisons les plus fortes chez la plupart des espèces dont le coefficient R^2 ne variait que de 0,011 à 0,339 et dont le taux d'E.-T. E allait de 11,1 à 2,8; pour le reste des espèces dont le coefficient R^2 allait de 0,044 à 0,575 et dont le taux d'E.-T. E. variait de 8,0 à 2,2, ce sont les variables $d^2.h$ et t (modèle n° 9) qui ont donné la meilleure combinaison.

Variation interspécifique

La masse volumique moyenne varie selon l'espèce, car chacune possède des caractéristiques anatomiques particulières. Diverses publications font état de cette variation entre autres celles de Kennedy et al. (1968) et de Jessome (1977), où l'on donne la masse volumique moyenne ainsi que diverses autres propriétés du bois de nombreuses espèces de l'est du Canada.

La masse volumique que nous donnons pour chacune des espèces de notre étude représente la moyenne arithmétique de la masse volumique du bois des arbres de notre échantillon (tableau 2). Elle va de 311 kg/m^3, dans le cas du cèdre blanc, à 646 kg/m^3, dans le cas du chêne blanc. Certaines de nos

valeurs sont tout à fait comparables aux résultats de Jessome (1977) et de Kennedy et al. (1968) (par exemple, celles du pin gris, de la pruche du Canada, du peuplier à grandes dents), mais d'autres sont très différentes (par exemple, celles du frêne noir, du frêne rouge, du tilleul d'Amérique) (tableau 4). Cette disparité est peut-être due à des différences de traitement et de calcul ou encore à des variations régionales. Notons par ailleurs que la masse volumique que nous donnons ici ne peut se comparer à la masse volumique après séchage (masse après séchage/volume après séchage) que donne Singh (1984) pour les espèces des Prairies.

Signalons enfin que les valeurs de masse volumique de la tige que nous présentons ici ont préséance sur tous les autres chiffres que nous avons précédemment publiés (Alemdag, 1981, 1982 et 1983).

Tableau 4. Comparaison de nos valeurs de la masse volumique avec celles de Jessome (1977) et de Kennedy et al. (1968)

Espèce	Nos données		Jessome		Kennedy et al.	
	kg/m³	n*	kg/m³	n*	kg/m³	n*
Résineux						
Cèdre rouge	437	15	-	-	-	-
Cèdre blanc	311	66	299	19	306	44
Sapin baumier	341	17	335	26	329	571
Pruche du Canada	406	122	404	31	356	156
Pin blanc	342	128	364	25	323	253
Pin gris	418	69	421	25	397	95
Pin rouge	372	94	392	25	357	67
Épinette noire	437	39	406	32	402	318
Épinette blanche	383	56	354	43	353	204
Mélèze laricin	494	60	485	11	447	47
Feuillus						
Frêne noir	545	18	468	5	-	-
Frêne rouge	555	24	373	6	-	-
Frêne blanc	594	64	570	13	-	-
Peuplier à grandes dents	388	11	390	10	-	-
Peuplier faux-tremble	387	28	374	20	-	-
Tilleul d'Amérique	428	62	360	4	-	-
Hêtre à grandes feuilles	607	63	590	17	-	-
Bouleau à papier	539	44	506	16	-	-
Bouleau jaune	596	83	559	25	-	-
Cerisier tardif	569	64	510	5	-	-
Orme d'Amérique	530	68	524	23	-	-
Caryer	616	67	628	5	-	-
Érable rouge	588	36	516	6	-	-
Érable argenté	480	31	461	5	-	-
Érable à sucre	616	86	597	19	-	-
Chêne rouge	590	100	-	-	-	-
Chêne blanc	646	49	654	5	-	-
Peuplier baumier	354	87	372	10	-	-

*Nombre d'arbres.
+Nombre de spécimens.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

En résumé, cette étude de 11 à 128 arbres d'échantillonnage qui représentent 10 espèces de résineux et 18 espèces de feuillus poussant en Ontario a donné les résultats suivants :

1. La masse volumique du bois varie peu sur la longueur de la tige. Elle ne dépend pas du diamètre à hauteur de poitrine, de la hauteur totale, de l'âge et de la hauteur de prélèvement de la rondelle. La corrélation entre la masse volumique et la hauteur de prélèvement relative associée à l'âge est faible, mais elle est significative. Avec le modèle n° 5, le tracé de la masse volumique d'une rondelle en fonction de la hauteur de prélèvement (en pourcentage) à un âge donné n'est pas valable, car on peut y appliquer toutes sortes de paraboles ainsi que des courbes presque linéaires. Nous avons conclu que sous la forme suivante, ce modèle donne la meilleure estimation de la masse volumique du bois d'une rondelle, mais sans grande précision :

$$DWD = b_0+b_1.(hw/h)+b_2.(hw/h)^2+b_3.t+b_4.t^2 \qquad \text{(Modèle 5)}$$

2. La masse volumique du bois de la tige ne varie pas tellement si l'on compare des arbres de la même espèce. Il ressort toutefois que la corrélation est faible entre cette valeur et le diamètre à hauteur de poitrine, la hauteur totale et l'âge. Par contre, avec les dimensions de l'arbre, représentées par l'expression $d^2.h$, la relation est peu marquée, mais elle est significative. Pour toutes les espèces étudiées, les modèles n° 6 et 9 donnent une courbe de forme caractéristique lorsqu'on reporte la masse volumique de la tige en fonction du diamètre, de la hauteur et de l'âge : elle est décroissante, croissante ou relativement horizontale. Ces deux modèles, qu'il faut employer avec discernement, se présentent dans les termes suivants :

$$TWD = b_0+b_1.d+b_2.h+b_3.t \qquad \text{(Modèle 6)}$$

$$TWD = b_0+b_1.(d^2.h)+b_2.t \qquad \text{(Modèle 9)}$$

3. La masse volumique moyenne de chacune des espèces étudiées, déterminée sans considération des dimensions ou de l'âge de l'arbre, allait de 311 kg/m³ à 494 kg/m³, dans le cas des résineux, et de 354 kg/m³ à 646 kg/m³, dans le cas des feuillus. Comme le tracé de la masse volumique de la tige en fonction des variables d, h et t ne présentait pas de constance, la masse volumique moyenne est une valeur relativement fiable qu'on peut employer pour les arbres de toutes les espèces, quels qu'en soient les dimensions et l'âge. Cette valeur sert principalement à estimer la masse de la tige d'un arbre après séchage d'après son volume après écorçage lorsqu'on connaît les dimensions de l'arbre, mais non les équations permettant de déterminer la biomasse d'après ces mêmes dimensions ou vice versa.

REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier T.L. Pickett, chef de l'unité des services informatiques de l'Institut forestier national de Petawawa, et L.R Roy, du service de programmation, pour l'aide qu'ils nous ont apportée dans l'analyse statistique. Nous voudrions aussi exprimer nos remerciements à D.J. McGuire, de la Section d'étude de la croissance et de la productivité du bois d'oeuvre et de la biomasse, qui a dessiné l'illustration.

BIBLIOGRAPHIE

Alemdag, I.S. 1981. Aboveground-mass equations for six hardwood species from natural stands of the research forest at Petawawa. Can. Dept. Envi., Can. For. Serv., Pet. Natl. For. Inst., Info. Rep. PI-X-6. 9 p.

Alemdag, I.S. 1982. Aboveground dry matter of jack pine, black spruce, white spruce and balsam fir trees at two localities in Ontario. For. Chron. 58(1): 26-30.

Alemdag, I.S. 1983. Mass equations and merchantability factors for Ontario softwoods. Can. Dept. Envi., Can. For. Serv., Pet. Natl. For. Inst., Inf. Rep. PI-X-23. 24 p.

Cockrell, R.A. 1943. Some observations on density and shrinkage of ponderosa pine wood. Am. Soc. Mech. Eng. Trans. 65: 729-739.

Cody, J.B. 1972. Some wood characteristics and properties of plantation grown red pine in New York State. State University College of Forestry, AFRI Res. Rep. 9. 19 p.

Conway, E.M.; Minor, C.O. 1961. Specific gravity of Arizona ponderosa pine pulpwood. USDA For. Serv., Res. Note RM-54. 3 p.

Elliott, G.K. 1970. Wood density in conifers. Commonw. For. Bur., Tech. Commun. 8. 44 p.

Farr, W.A. 1973. Specific gravity of western hemlock and sitka spruce in southeast Alaska. Wood Sci. 6(1): 9-13.

Gilmore, A.R.; Jokela, J.J. 1978. Relationship of wood specific gravity, height, and diameter of white pine to geographic source of seed. U. Illinois, Dep. For., For. Res. Rep. 78-1. 2 p.

Hale, J.D.; Prince, J.B. 1940. Density and rate of growth in the spruces and balsam fir of eastern Canada. Can. Dept. Mines and Resources, Lands, Parks and Forests Branch, Dom. For. Serv., Bull. 94. 43 p.

Harrington, C.A.; DeBell, D.S. 1980. Variation in specific gravity of red alder (Alnus rubra Bong.). Can. J. Forest Res. 10(3): 293-299.

Heger, L. 1974a. Longitudinal variation of specific gravity in stems of black spruce, balsam fir, and lodgepole pine. Can. J. Forest Res. 4(3): 321-326.

Heger, L. 1974b. Relationship between specific gravity and height in the stem of open- and forest-grown balsam fir. Can. J. Forest Res. 4(4): 477-481.

Jayne, B.A. 1958. Effect of site and spacing on the specific gravity of wood of plantation-grown red pine. TAPPI 41(4): 162-166.

Jessome, A.P. 1977. Strength and related properties of woods grown in Canada. Environ. Can., East. For. Prod. Lab., For. Tech. Rep. 21. 37 p.

Johnstone, W.D. 1970. Some variations in specific gravity and moisture content of 100-year-old lodgepole pine trees. Can. Dept. Fish. For., Can. For. Serv., For. Res. Lab., Inf. Rep. A-X-29. 19 p.

Kennedy, E.I.; Jessome, A.P.; Petro, F.J. 1968. Specific gravity survey of eastern Canadian woods. Can. Dept. For. Rural Dev., For. Branch, Dept. Publ. 1221. 40 p.

Lenhart, J.D.; Shinn, K.H.; Cutter, B.E. 1977. Specific gravity at various positions along the stem of planted loblolly pine trees. For. Produc. J. 27(9): 43-44.

Maeglin, R.R. 1973. Wisconsin wood density survey. USDA, For. Serv., Res. Pap. FPL-202. 40 p.

Markstrom, D.C.; Yerkes, V.P. 1972. Specific gravity variation with height in Black Hills ponderosa pine. USDA, For. Serv., Res. Note RM-213. 4 p.

Okkonen, E.A.; Wahlgren, H.E.; Maeglin, R.R. 1972. Relationships of specific gravity to tree height in commercially important species. For. Produc. J. 22(7): 37-42.

Scott, S.L.; Barker, J.E.; Morrison, I.K.; Foster, N.W. 1982. Basic density of jack pine wood influenced by fertilization and thinning. For. Chron. 58(1): 44-46.

See, T.E.; Wommack, D.E.; Voorhies, G. 1974. Whole-tree specific gravity of southwestern young-growth ponderosa pine. Northern Arizona Univer., Sch. For., Arizona For. Notes No. 11. 13 p.

Singh, T. 1984. Variation in the ovendry wood density of ten Prairie tree species. For. Chron. 60(4): 217-221.

Smith, W.J. 1970. Wood density survey in western Canada. Can. Dept. Fish. For., Can. For. Serv., For. Produc. Lab., Inf. Rep. VP-X-66. 29 p.

Spurr, S.H.; Hsiung, W-y. 1954. Growth rate and specific gravity in conifers. J. For. 52(3): 191-200.

Tackle, D. 1962. Specific gravity of lodgepole pine in the intermountain region. USDA, For. Serv., Res. Note INT-100. 5 p.

TAPPI. 1953. Specific gravity (density) and moisture content of pulpwood. T18m-53. 4 p.

Taylor, F.W.; Burton, J.D. 1982. Growth ring characteristics, specific gravity, and fiber length of rapidly grown loblolly pine. Wood and Fiber 14(3): 204-210.

Wahlgren, H.E.; Hart, A.C.; Maeglin, R.R. 1966. Estimating tree specific gravity of Maine conifers. USDA, For. Serv., Res. Pap. FPL-61. 22 p.

Wheeler, P.R.; Mitchell, H.L. 1962. Specific gravity variation in Mississippi pines. USDA, For. Serv., For. Produc. Lab., Rep. 2250. 10 p.

Zobel, B.J.; McElwee, R.L. 1958. Natural variation in wood specific gravity of loblolly pine, and an analysis of contributing factors. TAPPI 41(4): 158-161.

LISTE DES ESPÈCES ÉTUDIÉES

Résineux

Cèdre rouge	*Juniperus virginiana* L.
Cèdre blanc	*Thuja occidentalis* L.
Sapin baumier	*Abies balsamea* (L.) Mill.
Pruche du Canada	*Tsuga canadensis* (L.) Carr.
Pin blanc	*Pinus strobus* L.
Pin gris	*Pinus banksiana* Lamb.
Pin rouge	*Pinus resinosa* Ait.
Épinette noire	*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.
Epinette blanche	*Picea glauca* (Moench) Voss
Mélèze laricin	*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch

Feuillus

Frêne noir	*Fraxinus nigra* Marsh.
Frêne rouge	*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.
Frêne blanc	*Fraxinus americana* L.
Peuplier à grandes dents	*Populus grandidentata* Michx.
Peuplier faux-tremble	*Populus tremuloides* Michx.
Tilleul d'Amérique	*Tilia americana* L.
Hêtre à grandes feuilles	*Fagus grandifolia* Ehrh.
Bouleau à papier	*Betula papyrifera* Marsh.
Bouleau jaune	*Betula alleghaniensis* Britton
Cerisier tardif	*Prunus serotina* Ehrh.
Orme d'Amérique	*Ulmus americana* L.
Caryer	*Carya* Nutt. spp.
Érable rouge	*Acer rubrum* L.
Érable argenté	*Acer saccharinum* L.
Érable à sucre	*Acer saccharum* Marsh.
Chêne rouge	*Quercus rubra* L.
Chêne blanc	*Quercus alba* L.
Peuplier baumier	*Populus balsamifera* L.